

Transistor Currents

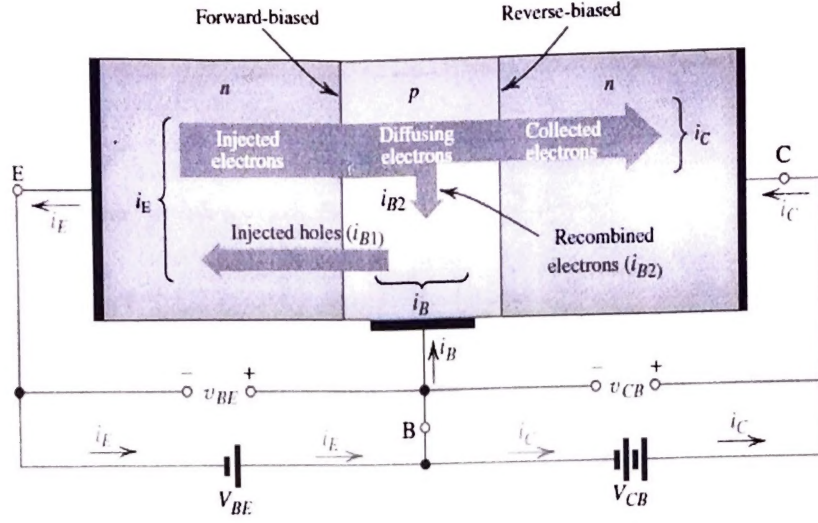


Figure 6.3 Current flow in an *n*pn transistor biased to operate in the active mode. (Reverse current components due to drift of thermally generated minority carriers are not shown.)

يبين الشكل طريقة تحييز الترانزستور (n-p-n) في منطقة النشاط حيث ان وضع الجهد V_{BE} سوف يجعل القطعة p-type (القاعدة) اعلى جهدا من القطعة n-type (الباعث) وهو ما يجعل وصلة الباعث - القاعدة في وضع الانحياز الامامي. في حين ان وضعية توصيل الجهد V_{CB} سوف يجعل المجمع اعلى جهدا من القاعدة وبالتالي فان وصلة المجمع - القاعدة سوف تصبح في وضع الانحياز العكسي. وهما الشرطان اللازمان لتشغيل الترانزستور في منطقة النشاط.

التيارات الناتجة عن حركة حاملات الشحنة في الترانزستور:

كما سبق الاشارة اليه هناك نوعان من الحركة لحاملات الشحنة في الترانزستور وهما حركتي الانتشار والانجراف وكما هو معلوم ان التيار ينتج عن حركة حاملات الشحنة فاننا سوف نركز على التيارات الناتجة عن حركة حاملات الشحنة بطريقة الانتشار واهمال التيارات الناتجة عن حركة حاملات الشحنة بالانجراف في البداية ولكننا سوف نوضح اثر تلك التيارات لاحقا.

ان عملية التحييز الامامي لوصلة الباعث القاعدة سوف ينتج عنه سريان تيار خلال الوصلة وهذا التيار مكون من مركبتي التيار الناتج عن سريان الالكترونات من الباعث الى القاعدة وسريان الثقوب من القاعدة الى الباعث. وكما تمت الاشارة اليه سابقا فان تركيز الالكترونات في القطعة (n-type) والتي تمثل الباعث في حالة الترانزستور (n-p-n) يكون كبيرا بالمقارنة مع تركيز الثقوب في القطعة (p-type) والتي تمثل القاعدة في هذه الحالة ويتم الحصول على ذلك عند تصنيع الترانزستور - (حجم الاسهم في الشكل السابق يبين اختلاف تركيز حاملات الشحنة بين كل من الباعث والقاعدة).

ويبين الشكل تفاصيل التيارات الناتجة عن حركة حاملات الشحنة عند تشغيل الترانزستور (n-p-n) في منطقة النشاط. ونلاحظ من الشكل ان تيار الباعث (I_E) يكون خارجا من وصلة الباعث وهو في

نفس اتجاه التيار الناتج من سريان الثقوب في حين التيار الناتج عن سريان الالكترونات يكون في عكس اتجاه حركة الالكترونات. وبالتالي فان تيار الباعث يكون مركب من مركبتين ويكون التيار الناتج عن مركبة الالكترونات هو السائد بسبب تركيز الالكترونات العالي في منطقة الباعث. لنقم الان بدراسة وتتبع حركة الالكترونات المحقونة من الباعث الى القاعدة حيث تصبح حاملات الشحنة الاغلبية المحقونة من الباعث حاملات شحنة اقلية عندما تصل الى القاعدة ونتيجة لضيق القاعدة فان توزيع حاملات الشحنة الاقلية يأخذ شكل الخط المستقيم كما هو مبين في الشكل التالي.

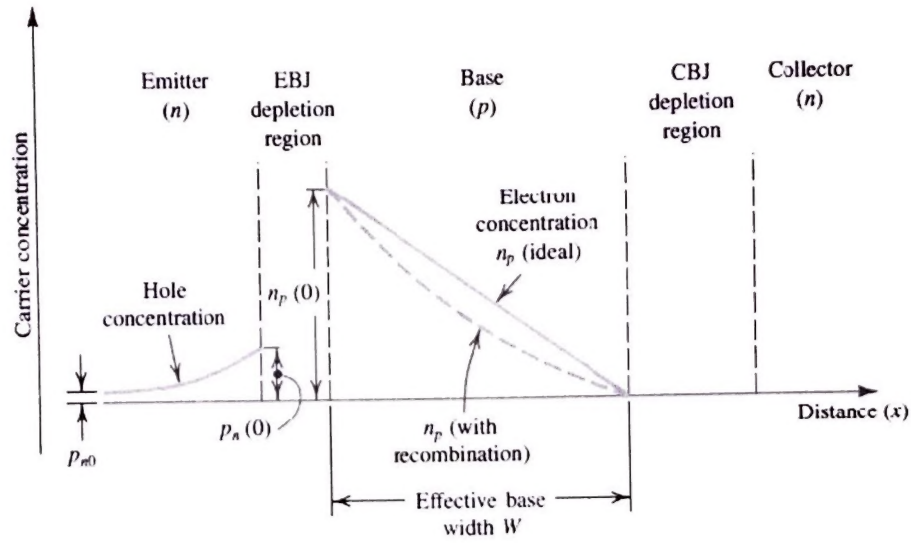


Figure 6.4 Profiles of minority-carrier concentrations in the base and in the emitter of an npn transistor operating in the active mode. $v_{BE} > 0$ and $v_{CB} \geq 0$.

حيث يكون تركيز حاملات الشحنة الاقلية (الالكترونات) في القطعة (p-type) التي تمثل القاعدة اعلى ما يمكن عند حافة المنطقة الناضبة للقاعدة من جهة الباعث ويرمز له بالرمز $n_p(x=0) = n_p(0)$. ويكون تركيز حاملات الشحنة الاقلية (الالكترونات) عند حافة المنطقة الناضبة للقاعدة من جهة المجمع يساوي صفر ويرمز له بالرمز $n_p(x=W) = n_p(W) = 0$ حيث ان W هي العرض الفعال للقاعدة. وكما هو الحال في اي وصلة ثنائية فان تركيز الحاملات يتناسب مع المقدار الاسي (للجهد V_{BE}) كما هو مبين:

$$n_p(0) \propto \exp\left(\frac{v_{BE}}{nV_T}\right) \text{ at } n = 1 \text{ and } V_T = 25\text{mV @ } R.T.$$

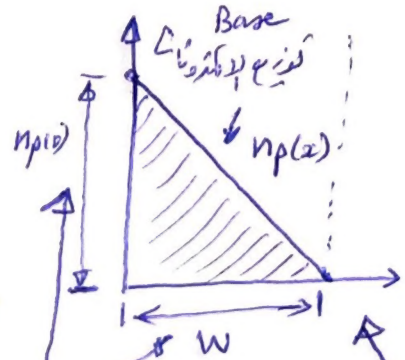
$$n_p(0) = n_{p0} \exp\left(\frac{v_{BE}}{nV_T}\right)$$

حيث ان n_{p0} تمثل تركيز حاملات الشحنة الاقلية (الالكترونات) عند الاتزان الحراري والجهد V_{BE} هو جهد الانحياز الامامي للوصلة الثنائية.

التركيز عند حافة المنطقة الناضبة للقاعدة من جهة المجمع

التركيز يساوي صفر بسبب انه الجهد صفر يجب ان يكون تركيزه صفر الوصلة (CBT) الى الجمع

$$n_p(W) = 0$$



$$I_n = A_E q D_n \frac{dn_p(x)}{dx}$$

$$= A_E q D_n \left(-\frac{n_p(0)}{W} \right)$$

توزيع حاملات الشحنة الاولى (الالكترونات في القاعدة)

وليس في مرور التيار

مقاسه طويلا مع من الجهد

الذالك على توزيع تركيز حاملات

الشحنة الاولى

$$I_n = \frac{A_E q D_n n_{p0}}{W} \exp\left(\frac{V_{BE}}{n V_T}\right)$$

* تيار المجمع : collector current

$$I_C = I_n \Rightarrow$$

التيار الناتج عن الالكترونات بين وصلت الى الجمع

$$I_C = \frac{A_E q D_n n_{p0}}{W} \exp\left(\frac{V_{BE}}{n V_T}\right)$$

$$I_C = I_S \exp\left(\frac{V_{BE}}{n V_T}\right)$$

3

$$I_S = \frac{A_E q D_n n_{p0}}{W}$$

$$I_S = \frac{A_E q D_n n_i^2}{N_A W}$$

←

$$n_{p0} = \frac{n_i^2}{N_A}$$

مع المعادلات السابقة يمكن ملاحظة الآتي :-

- أنه التيار (I_D) لا يتغير عند قيمة الجهد (V_{GS}) أي الجهد (المع - لقاعدة)
- وملاحظة أنه التيار (I_D) يتناسب مع الجهد (V_{GS}) وليس الجهد (القاعدة - الباس) أي الجهد الباس (V_{BE}) .
- أنه تيار التجميع أو (التسرب) يتناسب مكمياً مع مربع الجهد (V_{GS})

ومتناسب طردياً مع مساحة وصلة (EBT)

- محسباً قيمة التيار I_D تراوح $(10^{-18} \rightarrow 10^{-12} A)$ وهذا ذلك على حجم البنية (size of the device)

- حيث أنه $(I_D \propto n_i^2)$ بالتالي فإن دالة في ديم الخواص حيث أنه يتناسب مع كثرة زيادة في ديم الخواص الجهد (V_{GS}) (درجات مئوية)

- حيث أنه $(I_D \propto A_E)$ مساحة الوصلة (الحجم البنية) وبالتالي فإنها إذا P لدينا مقاطعاً مع وجود الاختلاف فقط في مساحة (EBT) وبالتالي فإن الاختلاف في تيار التجميع (I_D) سيكون نفسه نسبة وبالتالي فإن نفس الجهد (V_{GS}) فإن البنية ذات المساحة الأكبر تكون تيار التجميع لها أكبر من البنية أصغر مساحة. ويستخدم هذا المفهوم في تصميم الدوائر المتكاملة.

Integrated circuit - design

تيار القاعدة - base current

- تيار القاعدة يتكون من مركبتين

④ المركبة الأولى (I_{B1}) ناتجة من حقن الإلكترونات من القاعدة إلى الباعث هذه المركبة تتناسب مع $(e^{\frac{U_{BE}}{V_T}})$.

⑤ المركبة الثانية (I_{B2}) ناتجة من الحقن التي تأتي من قنطرة الباعث من طرف الدائرة الخارجية وذلك لتعويض الإلكترونات التي فقدت نتيجة إعادة الاتحاد مع الإلكترونات.

وهي أنه (I_{B2}) تتناسب مع عدد الإلكترونات المفقودة للقاعدة وبالتالي فهو يتناسب مع $(e^{\frac{U_{BE}}{V_T}})$

- تيار الباعث للقاعدة $I_B = I_{B1} + I_{B2}$ يتناسب مع $(e^{\frac{U_{BE}}{V_T}})$

وبالتالي يمكن التعبير عن تيار القاعدة كجزء من تيار الباعث بالشكل التالي

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} \Rightarrow I_B = \left(\frac{I_C}{\beta} \right) e^{\frac{U_{BE}}{V_T}}$$

$\beta = \text{common-emitter current gain}$

من خلال هذه العلاقة يمكن ملاحظة أنه (β) تتأثر

- عمره القاعدة (W)

- نسبة بيم تركيز الجسيمات في كوسم القاعدة والباعث $(\frac{N_A}{N_D})$

- للحصول على قيمة عالية لـ (β) $\Leftrightarrow (W \rightarrow \text{small})$ تركيز حاملات شحنة في القاعدة العالي في الباعث

(making $\frac{N_A}{N_D}$ small)

حيث ان التيار الداخل للترانزستور يساوي التيار الخارج منه

تيار الباعث - Emitter current

$$i_E = i_C + i_B$$

$$i_B = \frac{i_C}{\beta}$$

$$i_E = i_C + \frac{i_C}{\beta}$$

\Rightarrow

$$i_E = \frac{\beta + 1}{\beta} i_C$$

بالتعريف عم فيه i_C

$$i_E = \frac{\beta + 1}{\beta} I_S e^{V_{BE}/V_T}$$

$$i_E = \left(\frac{\beta + 1}{\beta} \right) I_S e^{V_{BE}/V_T}$$

also $i_C = \alpha i_E$

$$\alpha = \frac{\beta}{\beta + 1}$$

$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$$

also

$$i_E = \left(\frac{I_S}{\alpha} \right) e^{V_{BE}/V_T}$$

- لاحظ ان البسط تغير في عمه (α) يؤدي الى تغير كبير في عمه (β)

α = common - base current gain

$i_C \Rightarrow$ is independent of the value of the collector voltage as long as the base-collector junction remains reverse biased that is ($V_{CB} \geq 0$)

- في منطقة النشاط (active region) يمكن اعتبار أنه يجمع خصائص مصدر تيار ثابت (constant-current source) وتتمدد فيه التيار باتجاه (VBE)

- تيار القاعدة (IB) يحدد (1/β) من تيار الجمع (IC)
 - تيار الانبعاث هو مجموع التيارين (IB + IC)

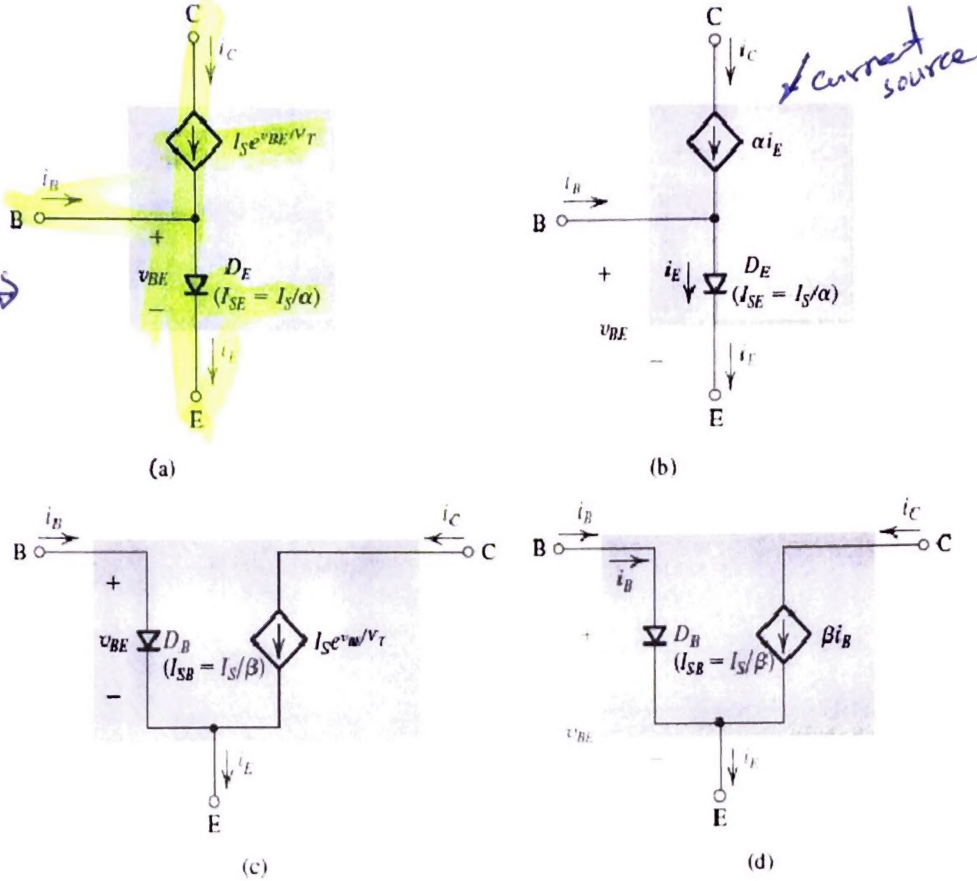


Figure 6.5 Large-signal equivalent-circuit models of the npn BJT operating in the forward active mode.

نفسه لتغيير مع المعادلات (ب) يتم بالتفويض ليس في (a)

$I_{SE} = \frac{I_S}{\beta}$ $i_E \Rightarrow v_{BE}$ related to $v_{BE} \Rightarrow$ This model is nonlinear voltage-controlled current source.

- يمكن تحويل (النموذج في (a) إلى النموذج في (ب) ويصبح current-controlled current source

Quiz 1

What is the difference between the two given circuits?

What is the transistor type in each circuit?

Are the voltage polarities correct or false for each circuit?

